

EXERCICE 1 : DANS LE NOYAU (4 points)

Un noyau d'hélium est constitué de deux protons et de deux neutrons.

1. a. Déterminer la valeur de la force électrique entre les deux protons. /1

La distance entre le centre des deux protons est $d = 2r$, donc la force électrique entre les deux protons est :

$$F_{\text{élec}} = k \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2} = k \frac{|e \cdot e|}{(2r)^2} = 9,0 \cdot 10^9 \frac{|1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19}|}{(2 \times 1,0 \cdot 10^{-15})^2} = 58 \text{ N}$$

- b. Cette interaction est-elle répulsive ou attractive ? /0,5

Cette interaction est **répulsive** puisque les deux protons ont la même charge.

2. a. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle entre les deux protons. /1

La force d'attraction gravitationnelle entre les deux protons est :

$$F_{\text{grav}} = G \frac{|m_A \cdot m_B|}{d^2} = k \frac{|m_p \cdot m_p|}{(2r)^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{|1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}|}{(2 \times 1,0 \cdot 10^{-15})^2} = 4,7 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

- b. Peut-on négliger cette force par rapport à la force électrique ? /0,5

Oui, puisqu'elle est environ 10^{36} fois plus petit que la force électrique.

3. a. Que se passe-t-il si les deux protons ne sont soumis qu'à la force non négligeable de la questions 2.b. ? /0,5

Les deux protons **se repoussent**, et donc **le noyau éclate**, il se décompose.

- b. Quelle interaction permet la cohésion du noyau ? /0,5

C'est **l'interaction forte** qui permet la cohésion du noyau.

EXERCICE 2 : LE POTASSIUM 40 (4 points)

Le potassium ($Z = 19$) est naturellement présent sous la forme de deux isotopes stables : le potassium 39 (93 %) et le potassium 41 (7 %). Il en existe cependant un troisième, le potassium 40 qui est radioactif et représente 0,01167 % de la quantité de potassium qui se trouve dans la nature.

Un échantillon de 10 g de potassium naturel est placé devant un détecteur. On mesure pendant 10 minutes 184 149 désintégrations.

1. Quelle est l'activité de cet échantillon ? /1

L'activité étant le nombre de désintégration par seconde, l'activité de cet échantillon est :

$$A = \frac{184149}{10 \times 60} = \frac{184149}{600} = 307 \text{ Bq}$$

On suppose que le potassium 40 peut subir une des trois désintégrations spontanées suivantes :



Particule : électron noyau d'hélium positron

Type de désintégration : β^- α β^+

2. Compléter les trois équations ci-dessus. /1,5

3. Donner la particule émise dans chacune de ces trois désintégrations. /0,75

4. En déduire le type de chacune de ces trois désintégrations. /0,75

EXERCICE 3 : PRODUCTION D'ÉNERGIE NUCLÉAIRE (12 points)

A- La fusion /4,75

La fusion contrôlée se manifeste par une réaction entre les noyaux de deutérium ($Z = 1$ et $A = 2$) et de tritium ($Z = 1$ et $A = 3$). Dans cette réaction nucléaire, seul le tritium est radioactif et 90% des déchets ont une durée de vie radioactive très courte.

1. Justifier le fait que deutérium et tritium appartiennent à l'élément hydrogène. /0,5

Le deutérium et le tritium ont pour numéro atomique $Z = 1$ donc ils appartiennent au même élément, l'hydrogène.

2. Justifier le fait que cette réaction soit une fusion. /0,5

Cette réaction se manifeste par la fusion de deux noyaux légers en un plus lourd : c'est une fusion.

3. Écrire l'équation de fusion entre ces deux noyaux sachant qu'il se forme un neutron et un noyau noté A_ZX . Identifier le noyau inconnu et justifier le raisonnement. /1,5

L'équation de la fusion s'écrit : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^A_ZX$

Pour identifier le noyau inconnu on utilise les lois de conservation des charges et des nucléons :

La loi de conservation des charges donne : $1 + 1 = 0 + A$ donc $A = 1 + 1 = 2$

La loi de conservations des nucléons donne : $2 + 3 = 1 + Z$ donc $Z = 2 + 3 - 1 = 4$

Le noyau formé est donc un noyau d'hélium 4 : ${}^4_2\text{He}$

4. Exprimer et calculer en J puis en MeV l'énergie libérée par cette réaction. /2,25

L'énergie libérée est donnée par la relation : $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$ avec $\Delta m = m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})$

Donc $\Delta m = (1,67493 \cdot 10^{-27} + 6,64466 \cdot 10^{-27}) - (3,34358 \cdot 10^{-27} + 5,00736 \cdot 10^{-27}) = -3,135 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$

Donc $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2 = 3,135 \cdot 10^{-29} \times (2,99792 \cdot 10^8)^2 = 2,818 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

Ce qui fait en MeV $E_{\text{libérée}} = 2,818 \cdot 10^{-12} / 1,60 \cdot 10^{-19} = 1,76 \cdot 10^7 \text{ eV} = 17,6 \text{ MeV}$

B- La fission

/6,25

Actuellement, les centrales nucléaires utilisent la réaction de fission de l'uranium 235 qui constitue le « combustible nucléaire ». Certains produits de fission sont des noyaux radioactifs à forte activité et restent radioactifs très longtemps.

Voici un exemple de réaction possible (à compléter) : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + k {}^1_0\text{n}$.

5. Compléter le nombre de neutrons formés lors de cette transformation. Justifier par des calculs. /1

Selon la loi de conservation des nucléons on a : $235 + 1 = 94 + 139 + k \times 1$ donc $k = 236 - 233 = 3$

6. Donner la composition du noyau de l'uranium 235. Que représente l'uranium 238 par rapport à lui ? /1

Le noyau de l'uranium 235 est composé de : **92 protons** et de 235 nucléons, donc $235 - 92 = 143$ neutrons.

L'uranium 238 est un **isotope** car il appartient au même élément (même Z) mais présente un nombre de neutrons et donc de nucléons différents (A différent).

7. Cette réaction est-elle une désintégration spontanée ? Justifier. /0,5

Non, car cette réaction fait intervenir deux réactifs contrairement à une désintégration spontanée.

8. Exprimer et calculer en J puis en MeV l'énergie libérée par cette réaction. /2,25

L'énergie libérée est donnée par la relation : $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2$ avec $\Delta m = m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})$

Donc $\Delta m = (3,9021711 \cdot 10^{-25} + 1,67493 \cdot 10^{-27}) - (1,5591564 \cdot 10^{-25} + 2,3063121 \cdot 10^{-25} + 3 \times 1,67493 \cdot 10^{-27})$

Donc $\Delta m = -3,204 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$

Donc $E_{\text{libérée}} = |\Delta m| \times c^2 = 3,204 \cdot 10^{-28} \times (2,99792 \cdot 10^8)^2 = 2,880 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

Ce qui fait en MeV $E_{\text{libérée}} = 2,880 \cdot 10^{-11} / 1,60 \cdot 10^{-19} = 1,80 \cdot 10^8 \text{ eV} = 180 \text{ MeV}$

9. Dans 1 kg d'uranium 235, quelle est le nombre de noyaux présents ? En déduire l'énergie libérée par la réaction nucléaire d'un kg d'uranium. /1

La masse d'un noyau d'uranium 235 est $3,9021711 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$, donc dans 1 kg d'uranium 235 on a $\frac{1}{3,9021711 \cdot 10^{-25}} =$

$2,5626759 \cdot 10^{24}$ noyaux d'uranium.

L'énergie libérée par la réaction nucléaire de 1 kg d'uranium est donc de :

$E_{\text{libérée}} = 2,880 \cdot 10^{-11} \times 2,5626759 \cdot 10^{24} = 7,381 \cdot 10^{12} \text{ J}$.

10. Sachant que le pouvoir énergétique de l'essence est de $3,5 \cdot 10^7 \text{ J}$ par litre, combien de litres d'essence contiennent autant d'énergie qu'un kg d'uranium ? /0,5

Pour avoir la même énergie, le nombre de litres d'essence qu'il faudrait est : $\frac{7,381 \cdot 10^{12}}{3,5 \cdot 10^7} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ L} = 2100 \text{ m}^3$

C- Synthèse

/1

11. Conclure en indiquant les avantages que présenterait l'utilisation de la fusion par rapport à la fission nucléaire pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires. /1

Les avantages que présenterait l'utilisation de la fusion par rapport à la fission nucléaire pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires sont :

- Une énergie libérée par nucléon plus importante : $17,6/5 = 3,52 \text{ MeV}$ à comparer au $180 / 236 = 0,763 \text{ MeV}$ de la fission ;
- Des déchets moins radioactifs.

Mais il y a encore des inconvénients :

- La fission est actuellement maîtrisée (enfin dans le meilleur des cas) à grande échelle, ce qui n'est pas le cas de la fusion.